

анизотропное растяжение поперек оси ленты в ее плоскости из-за образования в этом направлении повышенной концентрации внедренных в поверхность атомов водорода и кислорода [1]. Из таблицы видно, что такие напряжения приводят к повышению объемных долей доменов с ортогональной ($V_{\text{орт}}$) и планарной намагниченностью, ориентированной вдоль оси ленты (V_{180}). Т.е. намагниченность под действием растягивающих напряжений переориентируется в направление, перпендикулярное растяжению. Отсюда следует, что после термообработки формируется состояние с $\lambda_s < 0$. Анизотропия распределения намагниченности в плоскости ленты, характеризуемая отношением $V_{180}/V_{90} = \eta$, где V_{90} - объемная доля доменов с планарной намагниченностью, ориентированной поперек оси ленты возрастает, что является причиной повышения μ_{max} .

Состояние ленты	$V_{\text{охл}}, ^\circ\text{C}/\text{мин}$	\square_{max}	$V_{\text{орт}}, \%$	$V_{180}, \%$	$V_{90}, \%$	η
ТО 380 $^\circ\text{C}$, 10 мин	40	410000	7,2	55	38	1,5
Обработка поверхности водой		430000	14,0	79	6,6	12,0
ТО 380 $^\circ\text{C}$, 10 мин	15	440000	6,0	76	18,0	4,2

В отличие от аморфных материалов с $\lambda_s > 0$, понижение скорости охлаждения в этом случае способствует некоторому увеличению μ_{max} вследствие формирования состояния с меньшими значениями $V_{\text{орт}}$ и большими значениями V_{180} . Это может быть связано с диффузионными процессами, протекающими на стадии охлаждения [3]. Уменьшения концентрации внедренных в поверхность ленты атомов способствует снижению плоского растяжения и $V_{\text{орт}}$, а растягивающие напряжения поперек оси ленты из-за образования повышенной концентрации внедренных атомов при температурах ниже точки Кюри приводят к увеличению V_{180} .

Список публикаций:

- [1] Скулкина Н. А., Иванов О. А., Степанова Е. А., Шубина Л. Н., Кузнецов П. А., Мазеева А. К. // ФММ. 2015. Т. 116. №. 12. С. 1242-1249
[2] Скулкина Н. А., Иванов О. А., Степанова Е. А., Блинова О. В., Кузнецов П. А., Мазеева А. К. // ФММ. 2016. Т. 117. №. 10. С. 1015-1022.
[3]. Скулкина Н. А., Иванов О. А., Павлова И. О., Минина О. А. // ФММ. 2015. Т. 116. №. 10. С. 1031.

Динамика намагниченности деформированного магнитомягкого ферромагнетика

Ермоленко Игорь Петрович

Волгоградский государственный университет

Лебедев Николай Геннадьевич, д.ф.-м.н.

heavymetallwarrior@yandex.ru

Современные познания в области ферромагнетизма ограничиваются изучением магнитных свойств конкретных веществ с различной микроструктурой [1], магнитной анизотропии [2], попытками математической формализации явления гистерезиса [3] и эффекта Виллари с применением Лагранжевого формализма [4]. Но большинство из существующих моделей достаточно нетривиальны для практического использования в магнитном структурном анализе различных материалов и не позволяют учитывать магнитную предысторию при решении обратной магнитостатической задачи.

Основной задачей является объяснение физической природы петли гистерезиса. Причиной нелинейных свойств ферромагнитных сред считается необратимость процессов вращения, торможение роста зародышей перемagnetничивания (инверсия) и особенности динамики доменных границ [5].

В предлагаемой работе модели гистерезиса применение математического формализма работ [1 – 4] упрощается условием малости намагниченности, когда эффект Виллари можно считать линейным, физически обоснованным предположением, что материал без напряжений, дефектов и нарушений микроструктуры является магнитомягким. Кроме того, построение самой модели магнитомягкого ферромагнетика основано на квантовом подходе в описании основных видов взаимодействий в веществе с использованием феноменологических гамильтонианов [5, 6, 11, 14, 15] и проведено на примере α -Fe.

На основе метода эффективного гамильтониана в модели учтены зеемановская энергия, спин-орбитальное взаимодействие и взаимодействие с кристаллическим полем. В рамках представления Гейзенберга получены нелинейные уравнения движения для намагниченности и орбитального момента домена. Параметры нелинейных уравнений найдены из сравнения с экспериментальными данными по магнитной анизотропии железа. Решение нелинейных жестких уравнений, полученное численно методом Розенброка, без учета магнитного трения для одного домена возможно имеет характерный вид петли гистерезиса.

Для описания ферромагнитного состояния однодоменного кристалла α -Fe можно использовать локализованную модель, эффективный гамильтониан которой можно представить в общем виде [6]:

$$H = H_K + H_{so} + H_z,$$

где H_K – оператор энергии кристаллического поля, H_{so} – оператор энергии спин-орбитального взаимодействия, H_z – оператор зеемановской энергии.

Оператор зеемановской энергии домена в эффективном магнитном поле B , с учетом двух подрешеток орбитального момента, будет иметь известный вид [6]: $H_z = -2\mu_B \mathbf{S} \mathbf{B} - \mu_B \mathbf{L} \mathbf{B}$

Полная энергия спин-орбитального взаимодействия в домене в приближении LS -связи [18] примет вид:

$$E = \sum_{i=1}^N E_i = W(\mathbf{S} \mathbf{L}) (\tilde{S} \tilde{L}) + W(\mathbf{S} \mathbf{L})^3 (\tilde{S} \tilde{L}),$$

$$\tilde{L} = \frac{8}{N^4} \sum_{i=1}^N \tilde{L}_i^h, \tilde{S} = \frac{32}{N^8} \sum_{i=1}^N \tilde{S}_i^h.$$

В рамках метода классической аналогии, полагая величины, входящие в вышестоящее уравнение, операторами, для спин-орбитального гамильтониана домена получим окончательное выражение:

$$H_{so} = W(\mathbf{S} \mathbf{L}) (\tilde{S} \tilde{L}) + W(\mathbf{S} \mathbf{L})^3 (\tilde{S} \tilde{L}).$$

В итоге уравнения для средних примут вид:

$$\frac{d\mathbf{S}}{dt} = 2\gamma[\mathbf{S} \times \mathbf{B}] - \frac{4\pi W \lambda}{h} (\mathbf{S} \mathbf{L}) [\mathbf{S} \times \mathbf{S} \mathbf{L}]$$

$$\frac{d\mathbf{L}}{dt} = \gamma[\mathbf{S} \times \mathbf{L}] + \frac{4\pi W \lambda}{h} (\mathbf{S} \mathbf{L}) [\mathbf{S} \times \mathbf{S} \mathbf{L}],$$

где $\gamma = 2\mu_B / \hbar$ – гиромагнитное отношение.

По построенной квантовой модели α -Fe выведены Гамильтонианы зеемановской энергии, кристаллического поля и спин-орбитального взаимодействия, и получены уравнения динамики намагничивания, но без учета магнитной вязкости, членов четвертого порядка реализация петли гистерезиса не осуществилась.

Список публикаций:

1. H. Kikuchi et al. Relationship between ferromagnetic properties and grain size of Inconel alloy 600 // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 381, 2015. SJR 0.935.
2. Matsuo T. Anisotropic Vector Hyteresis Model Using an Isotropic Vector Play Model // *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 46, #8, 2010. SJR 0.624.
3. Zhe Yuan et al. Gilbert Damping in Noncollinear Ferromagnets // *Physical Review Letters*, vol. 113, 2014. SJR 4.099
4. Bustman R. et al. On Variational Formulations in Nonlinear Magnetoelastostatics // *Mathematics and Mechanics of Solids*, 2007. SJR 0.550.
5. Вонсовский С.В. Магнетизм. Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1971. 1032 с.
6. Уайт Р. Квантовая теория магнетизма. Москва: Мир, 1985. 304 с.

Исследование распределения удельного поверхностного сопротивления в кристаллах KH_2PO_4 и KD_2PO_4

Калинников Михаил Анатольевич

Прохоров Артем Павлович

Институт прикладной физики РАН

Новиков Михаил Афанасьевич, к.ф.-м.н.

kalinnikov.mikhail93@mail.ru

В настоящее время во многих странах мира (Россия проект «Искра», Япония проект «Gekko», Франция проект "MegaJoule" и т.д.) идет строительство экспериментальных лазерных систем для создания управляемого термоядерного синтеза (УТС). Для УТС необходимо использовать излучение видимого и ближнего ультрафиолетового (УФ) диапазона. На данный момент самими мощными и высокоэффективными лазерными системами являются системы на ниодимовом стекле и йоде, генерирующие излучения ближнего инфракрасного (ИК) диапазона. Для преобразования ИК излучения в излучение видимого диапазона и ближнего УФ, необходимы преобразователи частоты лазерного излучения. Наиболее подходящими для этих целей являются монокристаллы KH_2PO_4 (KDP) и их дейтерированный аналог KD_2PO_4 (DKDP) [1]. Кристаллы KDP и DKDP активно используются в лазерной технике в качестве преобразователей частоты лазерного излучения уже много лет. Одними из главных требований для изготовления преобразователей частоты из данных кристаллов